ジオシンセティックス論文集
第39巻(2024.12)

覆土を有する大型土のう復旧盛土の散水・載荷模型実験および再現解析

天野友貴[1*]・松丸貴樹[2]・佐藤武斗[3]

降雨で鉄道盛土が被災した際には大型土のうを用いた応急復旧が多く採用されているが，列車運行再開時に実施する大型土のうの撤去，盛土の再構築が施工期間の長期化や工事費の増大の要因となる．そこで，本研究では，大型土のうの撤去を行わずに前面に覆土した構造について，その沈下・変形特性を評価することを目的に，縮小模型による散水・載荷実験を実施した．その結果から，提案構造が降雨に対して十分な安定性を有することや，覆土により列車荷重載荷時に土のうに発生する水平変位量と盛土天端の沈下量が低減されることがわかった．さらに，実験結果を再現しうる浸透流解析によって，盛土模型内の砕石層が，覆土内の水位や飽和度を減少させ，復旧盛土の安定性を向上させる効果を発揮することを確認した．

キーワード：鉄道盛土，土のう，降雨，浸透流解析

１．はじめに

近年，梅雨や台風，さらには夏季の線状降水帯の発生等による強雨によって，道路や鉄道盛土が被害を受ける事例が増加している[例えば 1)]．鉄道では，各事業者において列車運行に対する降雨規制値[2)]があらかじめ線区の防災強度等をもとに設定されており，この降雨規制値を超過した場合には列車の運行を休止し，沿線の点検を実施して運行再開に努めている．その際，盛土の被害が確認された場合には復旧の要否が検討され，軽微な被害であればシート等で降雨流入を防ぐなどにより列車運行を再開するが，被害規模が大きく，運行再開を急ぐ場合には応急復旧[例えば 3)]が実施される．

このような運行再開を急ぐ場合の応急復旧には施工効率や経済性等から，大型土のうを用いた応急復旧構造が広く用いられている．本研究グループでは，大型土のうを用いた復旧構造の性能評価を実施しており，大型土のう直下の地盤の支持性能や排水性が十分に確保できていれば列車運行再開時の安定性を有することが明らかとなっている[例えば 4)]．しかしながら，応急復旧で用いられる大型土のうは耐候性に課題があり，本復旧の際に撤去することが一般的である．本復旧時には列車運行を継続した状態で大型土のうの撤去が必要となり，施工期間の長期化や工事費増大の要因となる．

これまで，大型土のうの撤去を行わずに，本復旧構造とする検討がなされている．例えば，大型土のうの前面に腹付け盛土を形成し，土のうと腹付け盛土をジオテキスタイルにより一体化させた場合の遠心模型実験によりレベル 2 地震動に対する耐震性が示されている[5)]．しかしながら，同構造の降雨時の列車荷重に対する盛土体の安定性は不明である．強雨被害が増加している現況を鑑みるに，降雨時の列車荷重に対する盛土体の安定性は，本設構造の重要な性能要因である．

また，土のうを本設利用する際の懸念点として，土のうの耐久性が挙げられ，雨風や紫外線に直接さらされることで材料劣化が発生する．しかし，地盤内に土のうを設置する工法[例えば 6)および 7)]はすでに実用化され各土構造物として供用後も大きな問題は生じていない．このため，大型土のうを撤去せず盛土によって被覆された状況であれば，本復旧構造として使用可能な耐久性を有すると考えられる．

このような背景を踏まえ，本研究では降雨により被災した鉄道盛土を対象に，大型土のうの前面に覆土を行った本設構造の性能を評価した．具体的には，模型実験によって提案構造に降雨散水や浸透水を与えた後に，列車荷重相当の載荷を行いその安定性を評価した．実験結果について，大型土のうの前面に覆土をしない応急復旧構造の模型実験結果[4)]と沈下・変形特性を比較し，土のう前面の覆土による機能向上について検討した．また，降雨や浸透水を与えられた場合の飽和度や水位の変化について把握する事を目的に，実施した実験を対象に浸透流解析を実施し，実験結果との整合性を確認した．さらに，

[1]IGS非会員，鉄道総合技術研究所，構造物技術研究部基礎・土構造（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）
[2]IGS個人会員，鉄道総合技術研究所，構造物技術研究部基礎・土構造（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）
[3]IGS非会員，鉄道総合技術研究所，構造物技術研究部基礎・土構造（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）
*責任著者，amano.yuki.86@rtri.or.jp

砕石層が覆土に与える影響を把握することを目的に，のり先から土のう模型下まで砕石層を設けない場合の浸透流解析を実施し，砕石層がある場合とない場合で解析結果を比較した．

２．覆土を有する大型土のう復旧盛土の列車荷重載荷に対する安定検討

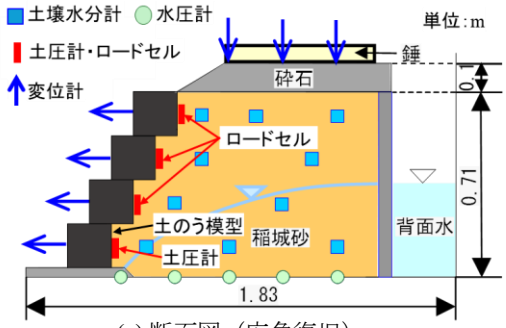
(1) 実験条件

覆土を有する大型土のう復旧盛土について，降雨時の列車荷重に対する盛土体の安定性を評価することを目的に，縮小模型を用いた降雨散水・載荷試験を実施した．既往研究[4)]での模型盛土の概要を**図-1**に，本研究で製作した模型盛土の概要を**図-2**に示す．以降は**図-2**に示す模型盛土について記述する．模型盛土は実物の1/6スケールを想定して，高さが0.73m，幅1.0m，奥行き2.00mとした．盛土天端にはバラスト・路盤部分を想定し，6号砕石を用いて0.1mの砕石層を設けた．のり尻には盛土天端と同様に6号砕石を用いた，高さ0.05mの砕石層（排水ブランケット）を構築するとともに排水パイプ（内径20mm，延長365mm）を奥行方向に0.17m間隔で5本設けることとした．これは，既往研究[4)]により確認されている支持力の確保と排水性の向上を目的としている．

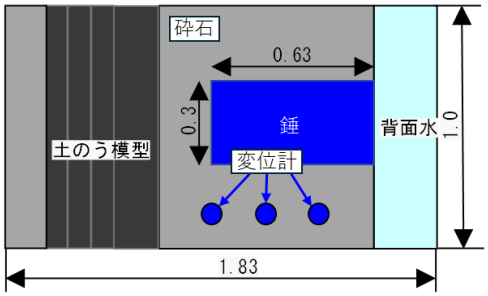
模型地盤の構築には稲城砂（細粒分混じり砂（S-F））を使用しており，その物理特性を**表-1**に示す．その他の特性は参考文献4)と同様である．構築する盛土は，既設盛土を想定しており，現行の鉄道設計標準[8)]を適用して施工された新設盛土と比較して十分な締固めが実施されていないことや，盛土に浸透が生じやすいこと，降雨や列車荷重の履歴により盛土の強度が低下することで過大な粘着力が生じないことを考慮して，締固め密度比D_c＝80%（乾燥密度ρ_d=1.40g/cm^3）で盛土の構築を行った．

図-3に用いた土のう模型の外観を示す．列車荷重載荷時の土のう模型に作用する土圧を計測するために，土のう模型はモルタルで作製し，土圧計とロードセルを設置した．また，土のう模型の水平変位量を計測するために，土のう模型内にインサートを設けることで，のり面の前面に変位計測用のターゲットを設置した．質量と大きさは実物の1/6となるよう製作を行っており，土のう模型の一辺は17cmの立方体である．降雨散水・載荷試験では，背面盛土と土のう間の摩擦が重要になると考えられたため，模型土のうの摩擦係数を実際の大型土のうに合わせることとし，土のう模型の前面側を除く5面に土のう袋の生地を接着剤で貼り付けた．土のう模型前面については，土のう模型に設置した計測器の配線や接触式変位計のターゲットを設置する関係から土のう袋の生地の接着は行わなかった．土のうの配列は比較対象の応急復旧時の模型盛土と同様にするため一列としている．

図-4に盛土模型に与えた降雨強度と背面水の時刻歴を示す．降雨散水・載荷実験では，はじめに降雨

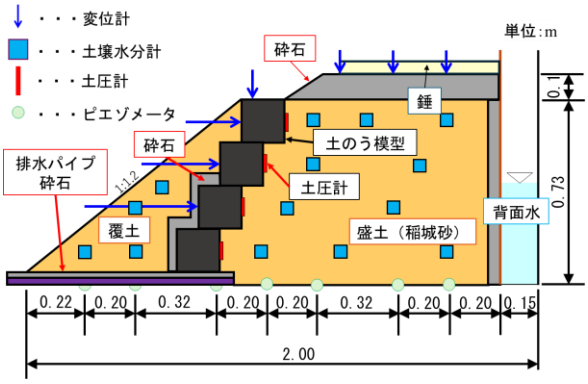


(a) 断面図（応急復旧）

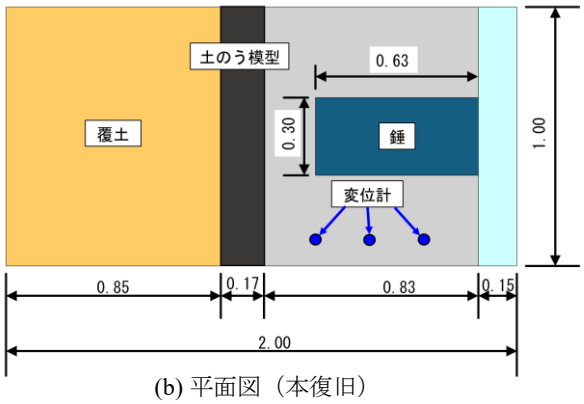


(b) 平面図（応急復旧）

図-1　既往研究[4)]での模型盛土の概要



(a) 断面図（本復旧）



(b) 平面図（本復旧）

図-2　今回製作した模型盛土の概要

表-1　盛土材料の物理特性

土粒子の密度 (g/cm^3)	2.75
細粒分含有率 (%)	9.00
均等係数 U_c	4.60
作製時乾燥密度 (g/cm^3)	1.40
作製時含水比 (%)	16.20

は与えない状態で盛土背面に設けた水槽から浸透水を供給することで盛土内の水位を上昇させた（**図-4**中①）．次に，背面水を上昇させた状態で，盛土上に設けた降雨散水装置から目標降雨強度30mm/hrを与えることで盛土内の飽和度を上昇させた（**図-4**中②）．同様の手順を2日間繰り返す（**図-4**中③および④）．最後に，背面水を600mmに上昇させた状態で，降雨強度を30mm/hr，48mm/hr，78mm/hrの順で変化させた（**図-4**中⑤）．なお，土槽背面にはパンチングメタルを設け，水槽に溜めた水を盛土に通水可能な構造とした．降雨散水の後に，**図-5**に示すように列車荷重載荷を模擬した錘の載荷を行った．重りは1枚の剛な板状のものであり，載荷荷重は774.2N（4.1kPa）としており，実物相当でEA荷重[9]である170kNの列車荷重を盛土天端に載荷する条件を想定している．載荷荷重は段階的に増加させ，最終的に列車荷重の5倍相当の3871.0Nの錘を載荷し，盛土や土のうに生じる変形の状況把握を行うこととした．載荷荷重は，チェーンブロックを用いて盛土上に錘を設置することで作用させた．

なお，盛土への錘の載荷は**図-1**および**図-2**に示すように盛土の奥行き方向の中央部に限定し，載荷に伴う鉛直変位の計測は錘から幾分か離れた位置で実施している．平面ひずみ条件を満足した載荷・計測とはなっていないが，これは錘を載荷しつつ盛土の沈下を計測することを優先したためである．また，同じ方法で別途実施した被災を模擬した実験[10]を通じて，降雨による崩壊規模に応じた列車荷重載荷時の盛土の沈下を計測できることを確認している．

(2) 実験結果および考察

本復旧構造を対象とした試験は5日程度かけて実施し，背面からの浸透や降雨散水を夜間の中断を挟みながら実施した．**図-6**に示すように，本復旧構造では，応急復旧構造での散水終了段階の積算雨量317mmと同程度の330mm時点で，覆土，土のう模型，背面盛土に変状は生じなかった．その後，背面水の水位を400mmから600mmまで上昇させ，降雨強度を78mm/hrまで段階的に上昇させ，積算雨量606mmまで散水を行ったが，のり面の表面が降雨により浸食されるような状況は確認されたものの，盛土内水位の上昇によるのり面からの浸出や，無対策の盛土[9]が崩壊する累積雨量でも盛土模型が崩壊するような変状は生じなかった．このことから，本復旧構造により降雨時の安定性が向上したと考えられる．

図-7に応急復旧構造および本復旧構造における背面水位400mmでの降雨散水後の盛土内の水位および飽和度分布を示す．盛土内の飽和度は，盛土内に設置した土壌水分計から得られた計測値に校正値を乗ずることで算出した．盛土内の水位は，背面水の高さを400mmに保持することで，応急復旧構造と本復旧構造共に盛土背面から土のう模型の下部に設けた砕石層に向かって緩やかに水位が下がっていく傾向が見られたが，水位分布は応急復旧構造と比較して本復旧構造の方が低い条件となった．これは，応急復旧構造に比べて本復旧構造のブランケット層の層厚が大きいため，盛土内の排水性能が向上した影響と考えられる．水位線より上方の飽和度分布は，応急復旧構造と比較して本復旧構造の方が大きい条件

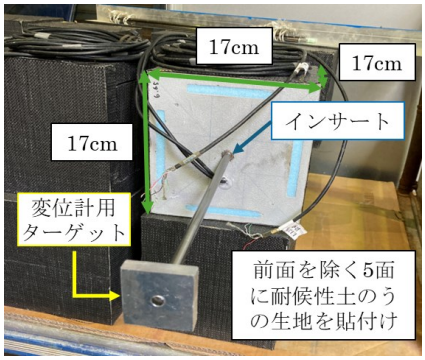
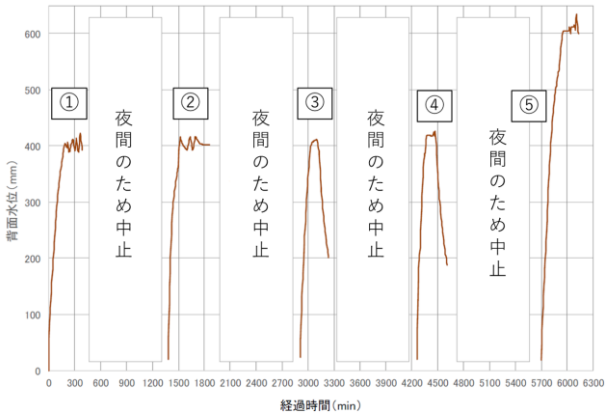
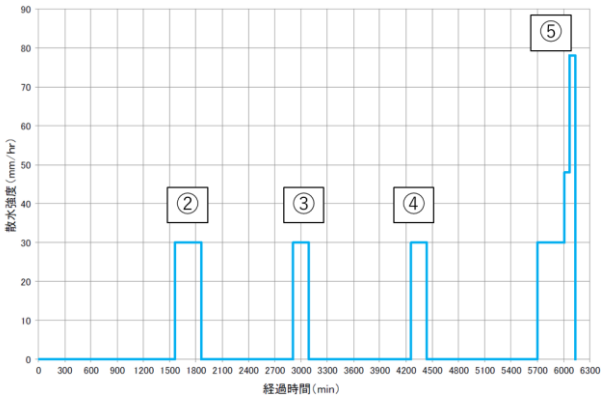


図-3　土のう模型の外観

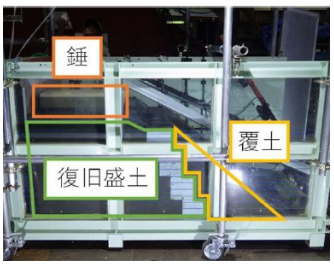


(a) 背面水位

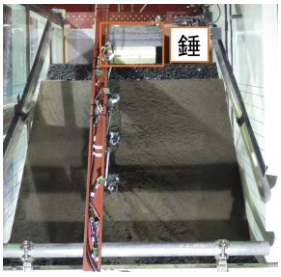


(b) 降雨強度

図-4　降雨強度および背面水高さの時刻歴



(a) 側面



(b) 正面

図-5　実験時の盛土模型

となった．これは，本復旧構造での模型盛土作製時の含水比が最適含水比（w=16.2%）であったが，応急復旧構造での模型盛土作製時の含水比は最適含水比を下回る値（15.8%）であったことが要因であると考えられる．

次に，列車荷重載荷時の応急復旧構造と本復旧構造の土のう各段位置の水平変位および盛土天端沈下量を比較した．**図-8**に列車載荷時の土のう各段での水平変位分布を，**図-9**に盛土天端の沈下量分布を示す．載荷実験は列車荷重の5倍相当の大きさまで実施した．

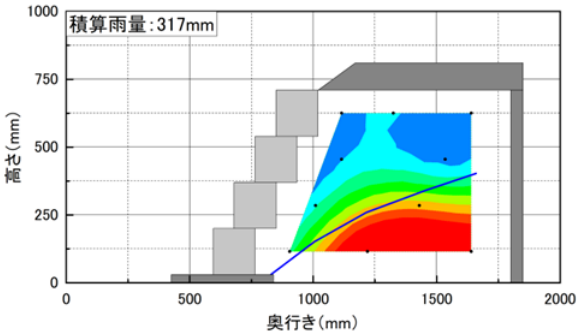
図-8に示す土のう模型の水平変位に着目すると，応急復旧構造では荷重の載荷に伴い土のう模型全体にはらみだしが発生した．その分布に着目すると，列車荷重の3倍程度の載荷までは土のう模型全体に同程度のはらみだしが発生し，列車荷重の4倍相当以降の載荷では，4段目でのはらみだしが顕著となり，最大で8mm程度の変位が発生した．本復旧構造では，土のう模型全体に発生する水平変位が比較的小さく，最も水平変位が大きい4段目では応急復旧構造と比較して，1/50程度の水平変位であった．その一方で，覆土量の多い2段目および3段目では列車荷重載荷による水平変位が抑えられていた．

図-9に示す盛土天端の沈下量の分布は，応急復旧構造では概ね均一に発生したが，本復旧構造では模型盛土背面付近で大きく発生した．これは，本復旧構造では土のう模型の水平変位が抑制されたことでのり肩付近の盛土天端は沈下しにくく，背面水の影響で飽和度が上昇した盛土背面付近が沈下しやすい状態となったためであると考えられる．本復旧構造で発生する沈下量は応急復旧構造と比較しておよそ1/10程度と微小であった．土のう模型の水平変位量と盛土天端の沈下量の比較から，覆土により盛土全体の変位が低減されることがわかった．

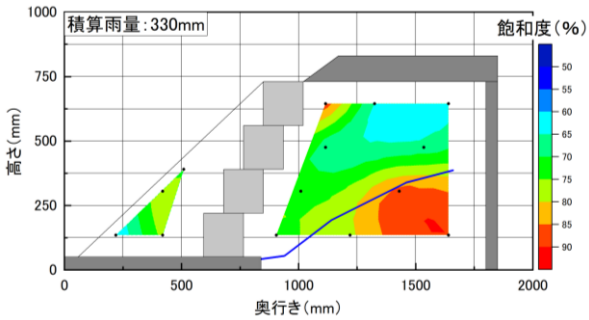
次に，列車荷重載荷時に土のうに作用する土圧分布を比較した．**図-10**に列車荷重載荷時の土のう模型に作用する土圧分布を示す．なお，土圧分布は列車荷重載荷前を0として増分値を示した．応急復旧構造では，土のう模型の水平変位の小さい3段目に作用する土圧が比較的大きく，1，2段目は土のう模

(a) 積算雨量 330mm　　(b) 積算雨量 606mm

図-6　降雨終了段階でののり面状況



(a) 応急復旧



(b) 本復旧

図-7　盛土内水位および飽和度分布

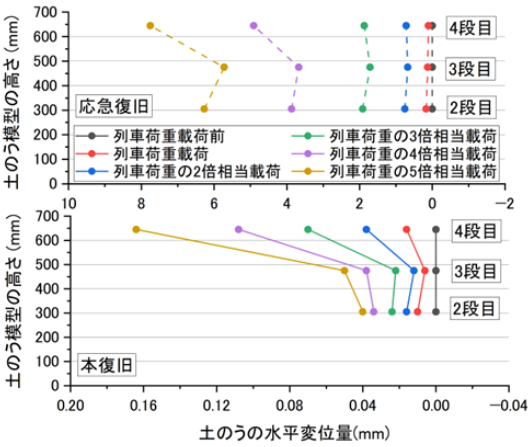


図-8　列車荷重載荷時の土のう模型の水平変位量

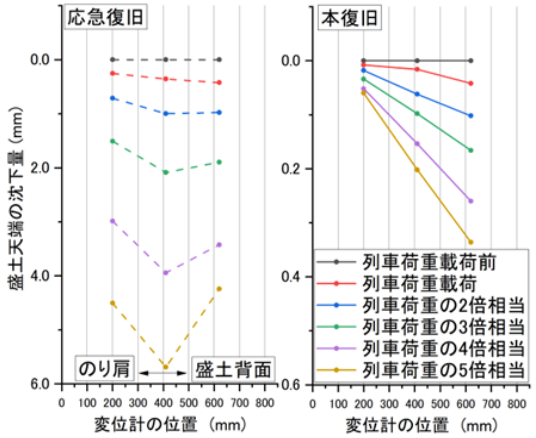
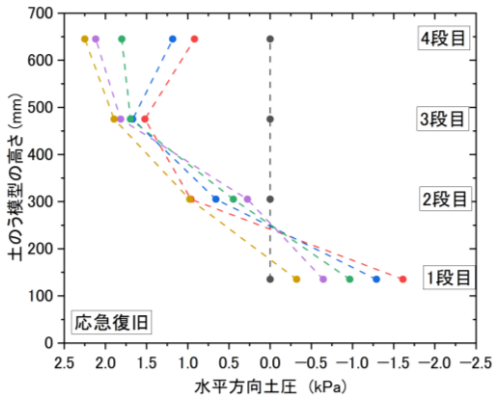
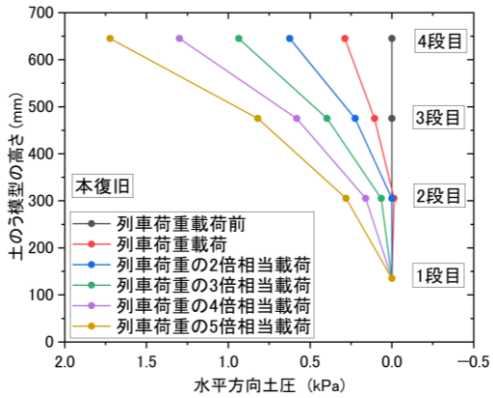


図-9　列車荷重載荷時の盛土天端沈下量



(a) 応急復旧



(b) 本復旧

図-10　列車荷重載荷時の土のう模型に発生する土圧

型が背面盛土から離れるような形で水平変位が発生したために土圧が減少したと考えられる．本復旧構造では，**図-8**に示すように土のう模型に発生する水平変位が微小であり，列車荷重の載荷に対して土のう模型に発生する土圧は逆三角形の土圧分布であった．3段目と4段目の土のう模型に発生する土圧は，応急復旧構造と本復旧構造ともに，列車荷重の増加に従い土圧も増加する傾向であった．列車荷重5倍相当の載荷時の土圧の最大値は，応急復旧構造と本復旧構造ともに2kPa前後で同じ程度であるが，土のう模型の水平変位は応急復旧構造の方が大きく，覆土により土のう模型の水平変位が低減されている．

以上の散水・載荷試験の比較結果から，応急復旧に比べて列車荷重載荷時に土のうに発生する水平変位量と盛土天端の沈下量が低減されることと，応急復旧と本復旧で列車荷重載荷時の土のうに発生する土圧の最大値には大きな差がないことを確認した．これにより，大型土のうの前面に覆土をすることで本設利用する構造が，大型土のうを用いた復旧構造の機能向上に貢献することが示唆された．

3．覆土を有する大型土のう復旧盛土の散水実験の再現解析

前述した覆土を有する大型土のう復旧盛土の散水実験を対象に浸透流解析による再現解析を行い，実験から得られた盛土内水位や飽和度と比較することで解析結果の妥当性について確認した．また，盛土模型底部に製作した砕石層（排水ブランケット）が覆土に及ぼす影響を確認するために，砕石層を設置しなかった場合についても同様に浸透流解析を行い，砕石層がある場合の解析結果との比較を行った．

(1) 解析条件

再現解析による盛土内水位と飽和度の変化についての検討は，降雨実験に基づく飽和－不飽和浸透流解析[11]により，盛土内の水位や飽和度分布を算定することで行った．

飽和－不飽和浸透流解析に使用した解析モデルを

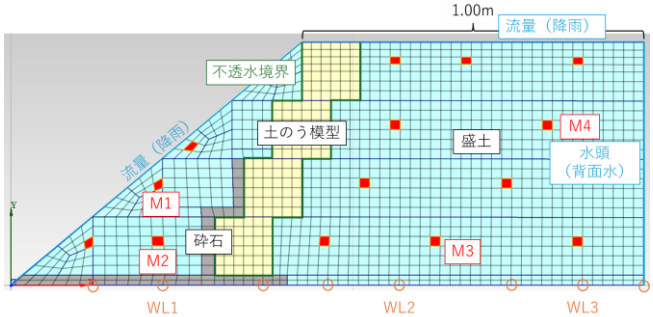
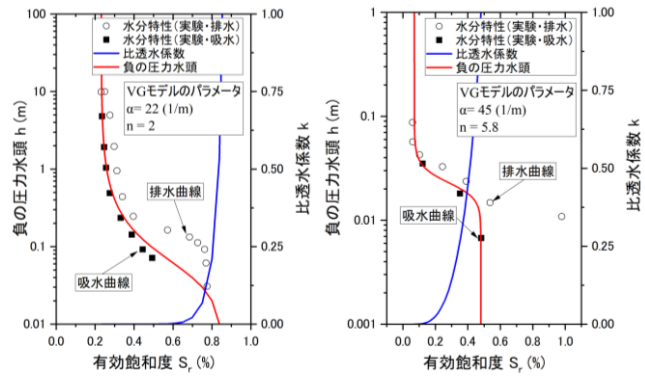


図-11　解析モデル

図-11 に示す．解析モデルは実験で使用した盛土模型に基づき，高さは 0.73m，幅は背面水位を与えるためのタンク分の幅を除き 1.85m，天端幅が 1.0m とした．解析モデル内の青色のメッシュ部は盛土および覆土部を，黄色のメッシュ部は土のう模型，灰色のメッシュ部は砕石層を再現した箇所となる．解析モデル左端および上端は実験と同様の降雨量を入力値とする降雨浸透境界とし，解析モデル右端は実験と同等の水頭を与える水頭既知境界とした．また，土のう模型がセメントで作製されていることから，黄色のメッシュ部の周囲は不透水境界とした．なお，実際の現場を対象とした解析では，土のうの透水性を，実際の土のう袋の中詰め材の透水性を参考に設定することになるものと考えている．図中には解析結果の妥当性を確認するために実験結果と解析結果での盛土内水位を比較する箇所（WL1～WL3）と盛土内飽和度を比較する箇所（M1～M4）を併記した．飽和－不飽和浸透流解析では，材料試験結果より，盛土および覆土部に使用した稲城砂の飽和透水係数を 1.92×10^{-4} m/s，砕石層に使用した 6 号砕石の飽和透水係数を 1.62×10^{-2} m/s とした．不飽和浸透特性は Van Genuchten モデル（VG モデル）[12]により，**図-12** に示す水分特性曲線および飽和度－比透水関係を採用した．なお，本研究では 6 号砕石の保水性試験を実施していないため，粒径が近しく既往研究[13]により水分特性曲線が明らかとなっている鹿島珪砂 4-6mm の水分特性曲線を採用した．

(2) 再現解析結果

図-13にWL1～WL3における，位置水頭と圧力水



(a) 稲城砂　　(b) 鹿島珪砂

図-12　不飽和浸透特性

頭の合計値の実験と解析の比較結果を示す．図中の青線が実験結果，オレンジ線が解析結果を示す．また，図中の棒グラフは散水実験で盛土模型に与えた降雨強度を示す．実験結果と解析結果との比較から解析結果に比べて実験結果の方が給水後の放置期間に急速な水頭の減少傾向が見られるものの，降雨散水や背面水の上昇による給水時の傾向は実験結果と良い整合を示した．

実験と解析におけるM1～M4の盛土内飽和度の時刻歴の比較を**図-14**に示す．M1，M4では，解析結果と実験結果が良い整合しているものの，盛土模型底部に位置するM2，M3では，降雨散水や背面水の供給時や，給水停止後の放置期間の飽和度の推移について，実験結果に比べて解析結果の方が高い感度で反応を示したことにより，実験と解析で飽和度の値が乖離する結果となった．これは，値が乖離した盛土内箇所が盛土底部に敷設した砕石層近くに集中しており，解析上での砕石の排水性が実際の排水性に比べて強く表現されていたことから，砕石の浸透挙動を十分に再現出来ていなかったためであると考えられる．なお，WL1の結果から水位上昇が些少な

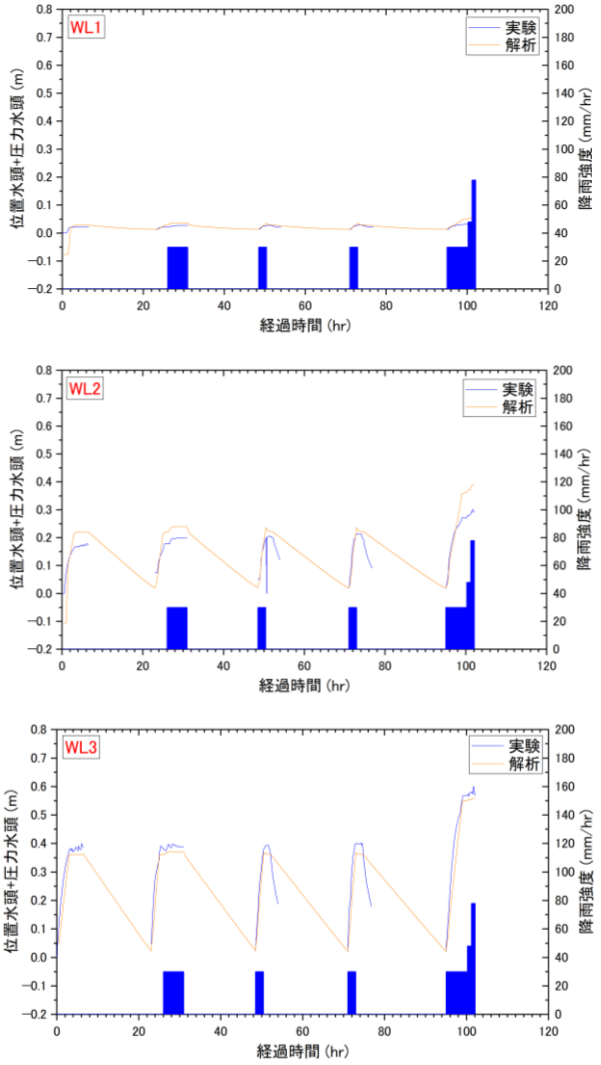


図-13　実験と解析の水位の比較（時刻歴）

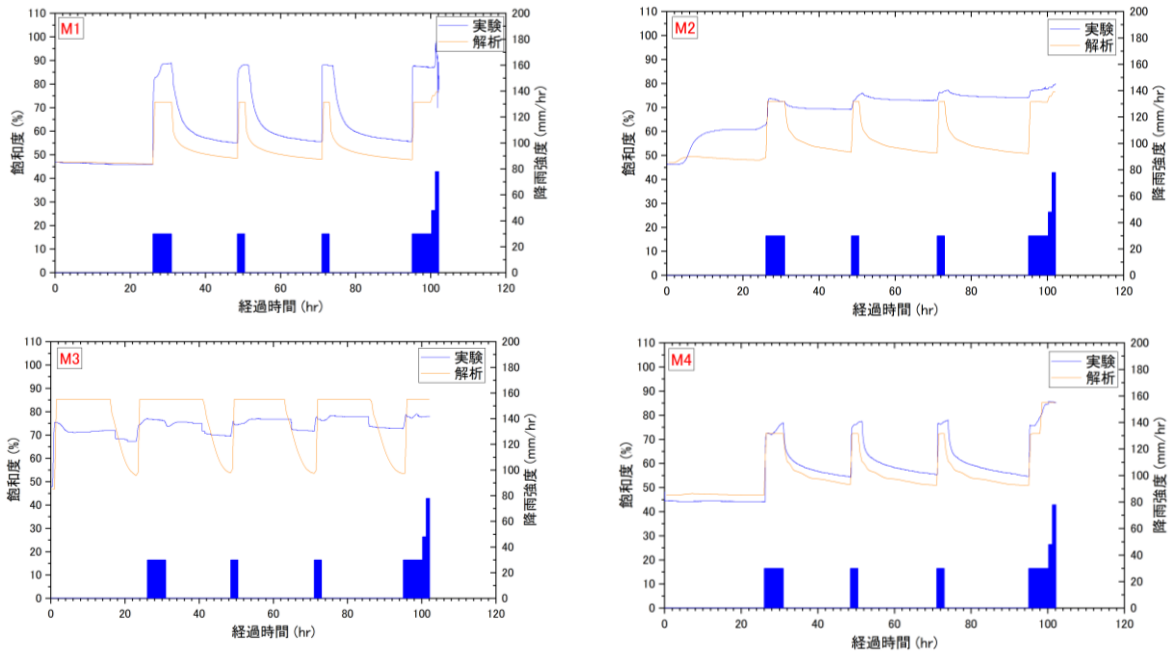


図-14　実験と解析の飽和度の比較（時刻歴）

M2の背面水の給水段階（**図-4**の①）で，実験結果の飽和度のみ上昇する結果となった．ここで，**図-12**（a）の水分特性曲線を考慮すると，砕石層の上面まで水位が上昇した場合，M2の計測高さは0.08mであり，その時の飽和度は50%～60%程度となっている．このことから，実験では砕石層を通る水が毛管力で盛土に吸い上げられたことで飽和度が上昇し，解析では毛管現象のような挙動を十分に再現出来ていないために飽和度が上昇しなかったと考えられる．

以上の結果より，砕石の透水性や吸水性の再現性に課題は残るものの，全体としては概ね良い整合性が得られた．このことから，今回の浸透流解析結果は再現解析として妥当な結果であり，提案構造が降雨等により盛土内飽和度や水位が変化する際の挙動を浸透流解析により再現できることを確認した．

(3) 砕石層が浸透挙動に及ぼす影響の検討結果

砕石層（排水ブランケット）が浸透挙動に及ぼす影響の検討を目的に，**図-11**に示す解析モデルで浸透流解析を行った場合の解析結果と**図-11**の図中で砕石として扱っている箇所を通常の盛土部と同じ物性とした場合の解析モデルでの解析結果を比較した．既往研究[4)]により，砕石層が大型土のう復旧盛土の安定性の向上に寄与していることは明らかとなっている．そのため，砕石層が覆土に及ぼす影響に着目し，**図-11**中のWL1，M1，M2の三種類の解析結果を比較対象とした．

図-15に砕石層の有無による盛土内水位の比較結果を示す．比較結果から，砕石層が無い場合盛土内への吸水により覆土内の水位が20cm程度上昇していることが確認できた．これは，砕石層が無いことにより覆土内に溜まる水の排水が出来ていないためであると考えられる．このことから，砕石層を製作した場合に比べて覆土のり面への水位上昇とそれに伴う復旧盛土の安定性の低下が考えられる．

図-16に，砕石層の有無による覆土の飽和度を比較した結果を示す．M1での結果についてはそれほど大きな変化は見られなかったが，M2では，砕石の有無による降雨停止後の飽和度減少に要する時間に変化が見られ，砕石有りの解析では飽和度の低下が早まっている．M1は上昇した水位よりも高い位置にある一方で，M2は水位よりも情報に位置しており，砕石層を有することで盛土内の飽和度を低下させる効果を有することを確認した．

以上の検討から，砕石層が覆土内の水位や飽和度を下げる効果を持つことが確認された．覆土内の水位や飽和度が上昇することで，復旧盛土の安定性が低下すると考えられるため，覆土を保護する観点から砕石層の必要性が示唆された．

５．まとめ

本研究では，覆土を有する大型土のう復旧盛土を対象に，列車の運行再開時を想定し，列車荷重が載荷されたときの沈下・変形特性を評価するために，提案構造を模擬した縮小模型に対して降雨散水・載荷試験を実施するとともに，モデル化した提案構造に対して浸透流解析による再現解析を行い，盛土内飽和度と盛土内水位を試験結果と解析結果で比較することで再現解析の妥当性を確認した．また，砕石層が無い場合の解析モデルに対して浸透流解析を行い，砕石層がある場合と無い場合での解析結果を比較することで，砕石層が覆土に与える影響を確認した．その結果，以下の知見が得られた．

(1) 大型土のうで応急復旧した鉄道盛土と大型土のうの前面に覆土することで本復旧した鉄道盛土の沈下・変形特性を比較した結果，応急復旧に比べて列車荷重載荷時に土のうに発生する水平変位量と盛土天端の沈下量が低減されることと，応急復旧と本復旧で列車荷重載荷時の土のうに発生する土圧の最大値には大きな差がないことを確認した．

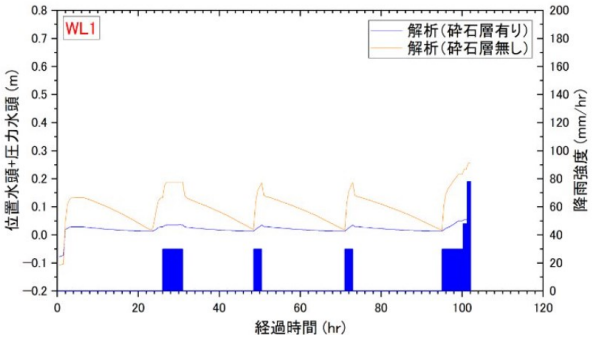


図-15　砕石層の有無による比較（水位）

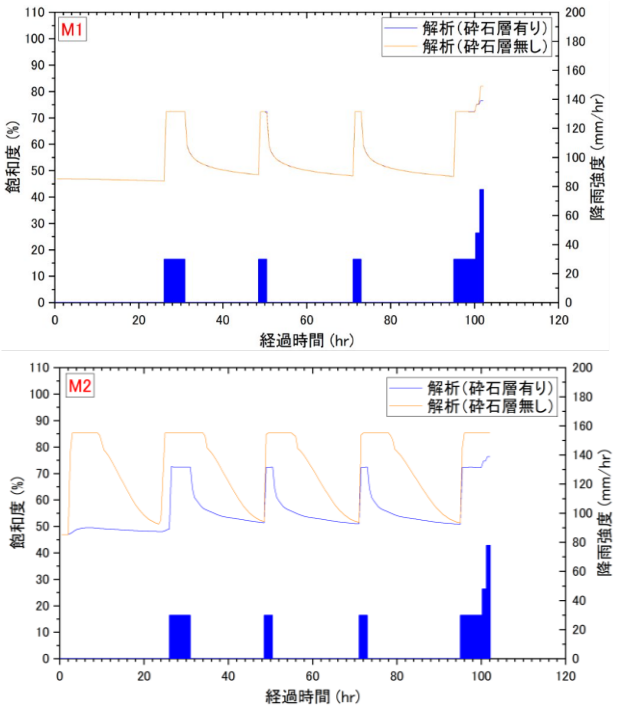


図-16　砕石層の有無による比較（飽和度）

(2) (1)の沈下・変形特性の比較結果から，大型土のうの前面に覆土をすることにより大型土のうを本設利用する構造が，大型土のうを用いた復旧構造の機能向上に貢献することが示唆された．

(3) 覆土を有する大型土のう復旧盛土の散水・載荷実験の実験結果とこの実験で製作した模型盛土をモデル化して実施した浸透流解析による再現解析結果から，盛土内飽和度と盛土内水位の結果を抽出・比較した結果，砕石の透水性・吸水性について再現しきれていないものの，全体としては良い整合を示したことから，散水・載荷実験をモデル化した浸透流解析について，十分な再現性を確認した．

(4) 砕石層の有無による浸透流解析結果から，覆土内の水位と飽和度の比較結果により，砕石層が無い場合，覆土内の水位と飽和度が上昇することが確認できた．このことから，覆土を保護する観点から砕石層の必要性が示唆された．

謝辞：本研究の一部は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施いたしました．また，本研究の実験や解析検討を実施するに当たり，元鉄道総合技術研究所の杉山健太氏（現ライト工業），高木翔太氏（現岡三リビック）には多大なるご協力をいただきました．ここに記して感謝の意を表します．

参考文献

1) 森田拓弥,大歳正明,西田幹嗣,槙健,藤本康弘,西田彼方: 平成30年7月豪雨で被災した岩徳線鉄道盛土の応急・復旧対策，令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会概要集, VI-874, 2019.
2) 梶谷宣弘, 外狩麻子, 関玲子, 友利方彦: 実効雨量指標を用いた降雨に対する運転規制方法について, 地盤工学会誌, Vol.60, No.3, pp.20-23, 2012.
3) 鳥山英数,遠山高浩:令和元年9月台風接近に伴う久留里線盛土復旧工事について, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会概要集, VI-853, 2020.
4) 松丸貴樹, 佐藤武斗, 伊藤壱記, 阿部慶太: 土のうで応急復旧を行った盛土の列車荷重載荷に対する安定および沈下検討, ジオシンセティックス論文集, 第38巻, pp.114-121, 2023.
5) 宮川智史,久保哲也,宮武裕昭：大型土のうを用いた災害時の復旧工法に関する遠心模型実験,平成25年9月土木学会第68回年次学術講演会概要集,III-016,2013
6) RRR-B工法（剛壁面盛土補強土擁壁工法）設計・施工マニュアル，RRR工法協会，2019.7) 松岡 元，村松大輔，劉 斯宏，井上泰介：土のうを活用した地盤の環境振動低減法，土木学会論文集，No.764/III-67， pp.235-245，2004.
8) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物），丸善，2007.
9) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）第Ⅰ編基本原則／第Ⅱ編　橋りょう，丸善，2023.
10) 杉山健太，藤本達貴，冨田佳孝，笠原康平，阿部慶太，松丸貴樹，犬塚清，山田徹：崩壊した鉄道盛土の列車荷重支持性能の把握を目的とした降雨載荷実験，第56回地盤工学研究発表会，2021
11) 赤井浩一，大西有三，西垣誠：有限要素法による飽和－不飽和浸透流の解析，土木学会論文報告集，No.264，pp.87-96，1977.12) Van Genuchten, M. TH.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Science Society of American Journal*, Vol. 44, No. 5, pp. 892-898, 1980.
13) 佐藤武斗,松丸貴樹：地盤材料の浸透特性がキャピラリーバリアの性能に及ぼす影響，土木学会論文集C（地圏工学），Vol78，No.3，180-196，2022

EXPERIMENT AND REPRODUCTION ANALYSIS OF SPRINKLING AND LOADING MODEL OF LARGE SANDBAG RESTORATION EMBANKMENT WITH SOIL COVER

Yuuki AMANO, Takaki MATSUMARU, Taketo SATO

When railway embankments are affected by rainfall, emergency restoration using large sandbags is often adopted, but the removal of large sandbags and the reconstruction of embankments when train service resumes are factors that prolong the construction period and increase construction costs. Therefore, in this study, we conducted a watering and loading experiment using a scaled-down model for the purpose of evaluating the subsidence and deformation characteristics of a structure covered with soil on the front without removing large sandbags. From the results, it was found that the proposed structure is sufficiently stable against rainfall, and that the amount of horizontal displacement and subsidence at the top of the embankment that occurs in the sandbags during the loading of the train load is reduced by the soil covering. Furthermore, by osmotic flow analysis that can reproduce the experimental results, it was confirmed that the crushed stone layer in the embankment model has the effect of reducing the water level and saturation in the soil cover and improving the stability of the restoration embankment.

KEYWORDS: Railway Embankment, Sandbag, Rainfall, Infiltration Flow Analysis